

Empreinte écologique et empreinte alimentaire de Paris. Une approche de biogéochimie historique

Gilles Billen^{1*}, Sabine Barles², Josette Garnier¹, Paul Benoit³, Joséphine Rouillard³.

¹ UMR Sisyphe, CNRS-UPMC, Paris, France eMail : billen@ccr.jussieu.fr

² Laboratoire Théorie des Mutations Urbaines, UMR CNRS AUS 7136, Champs-sur-Marne

³ Equipe d'Histoire des Techniques, LAMOP-UMR 8589, Université de Paris 1

* personne à contacter

1. Introduction : l'Empreinte Ecologique (Footprint)

Le concept d'empreinte écologique (Wackernagel & Rees, 1996) a rejoint aujourd'hui la batterie des indicateurs de développement durable très utilisés dans les programmes de sensibilisation et de communication menés tant par les associations citoyennes que par les pouvoirs publics. L'empreinte écologique d'une population est définie par le décompte des surfaces productives de la biosphère nécessaires pour assurer le flux de consommation matérielle et énergétique de son économie. Mesuré en hectare de superficie de productivité moyenne mondiale (hag), cet indicateur permet d'analyser le partage international des ressources mondiales, ou la durabilité du mode de vie d'une population, d'une ville, d'un habitant (WWF, 2002).

Récemment, l'IAURIF (2005) a publié une évaluation de l'empreinte écologique de l'Ile-de-France, estimée à 5,59 hag par habitant, comme indiqué dans le tableau 1.

Tableau 1. Empreinte écologique du Francilien moyen, selon IAURIF, 2005. En hectare global (hag) par habitant.

	énergie	terre arable	prairies	forêt	sol dégradé	mers	total
alimentation	0,20	0,89	0,18	-	-	0,38	1,66
logement	0,43	-	-	0,01	0,05	-	0,49
mobilité	0,67	-	-	-	0,03	-	0,70
Biens	1,75	0,13	0,02	0,57	0,02	0,001	2,49
Services	0,25	-	-	-	-	-	0,25
Total	3,30	1,02	0,20	0,58	0,10	0,39	5,59

L'emprise spatiale de la population d'Ile de France ($11,2 \cdot 10^6$ habitants) serait donc de $62,4 \cdot 10^6$ hag (contre $1,2 \cdot 10^6$ ha réels de territoire), ce qui correspondrait, si l'on tient compte de cette surface 'cachée', à une densité de population de 20 hab/km² (contre 930 hab/km² de densité effective sur le territoire de l'Ile-de-France).

Ces chiffres, très frappants, montrent donc d'abord la très grande dépendance de nos sociétés vis-à-vis de ressources situées hors de leur territoire. Dans les systèmes économiques traditionnels entretenant peu d'échanges commerciaux à longue distance, l'empreinte écologique se limite bien évidemment au territoire de la collectivité. Ce qui est intéressant (mais rarement réalisé) dans l'analyse des systèmes économiques ouverts qui caractérisent les sociétés modernes, c'est de 'tracer' ces échanges à longue distance. C'est aussi d'analyser la dynamique de leur progressive mise en place, dans une perspective historique longue, car ce fonctionnement à cycle ouvert de l'économie résulte d'étapes et d'héritages successifs qu'il convient de discerner pour le comprendre. Nous allons ici aborder ces questions par l'exemple de Paris et du Bassin de la Seine, en mobilisant notamment les travaux des biogéochimistes et des historiens développés de manière interdisciplinaire dans le cadre du programme PIREN-Seine. Ces travaux, pour des raisons de facilité d'établissement de certains bilans impliquant les flux hydriques, portent sur un espace défini par le bassin hydrographique de la Seine : 75 000 km², centré sur l'Ile-de-France, et s'étendant de la Haute Normandie à la Haute Marne, du Loiret à la Picardie. Mais parce que Paris en est le centre, et que les voies de communication que constituent les grands

cours d'eau ont joué un rôle majeur dans l'approvisionnement de la Ville, l'espace du bassin de la Seine est tout à fait pertinent pour l'analyse, au moins aux époques historiques, des rapports de production et d'échanges entre la ville et le milieu rural.

Nous analyserons ici les rapports de Paris et de son hinterland rural en matière d'approvisionnement alimentaire, nous attachant ainsi à la question de la seule empreinte alimentaire (Food-print) de la ville sur son environnement. Nous montrerons que le développement progressif de la population urbaine s'est accompagné, depuis le Moyen Age, d'une profonde structuration et d'une profonde modification fonctionnelle de l'espace rural du bassin de la Seine. Nous verrons aussi à partir de quel moment et dans quelles conditions cet espace a cessé d'être l'espace privilégié subvenant aux besoins alimentaires et énergétiques de base de la population qui l'habite.

2. Méthodes

Parce que l'azote est un constituant essentiel du régime alimentaire humain, ainsi que l'élément limitant principal de la production agricole, nous avons fait le choix de décrire les échanges entre la ville et la campagne en termes de flux d'azote. Notre approche consiste à comparer la demande alimentaire urbaine à l'offre de produits alimentaire de l'hinterland rural disponibles pour l'exportation commerciale. Pour convertir les données en unités physiques en termes de flux d'azote, les coefficients de conversion réunis dans le tableau 1 ont été utilisés.

Table 1. Contenu en azote des produits alimentaires et agricoles (en % du poids frais des produits récoltés ou consommés), et autres données relatives aux flux d'azote dans les systèmes agraires (Compilation de Baccini and Brunner, 1991; Soltner, 2005; Smil, 1999)

produit	Contenu en N, %
Aliments	
Céréales	1.8
Pain	1.4
Pommes de terre	0.3
Légumes frais et fruits	0.4
Légumes secs	2.1
Viande	3.4
Poissons et fruits de mer	3.4
Oeufs	2.1
Lait	0.5
Fromage	3.7
Beurre	0.14
Bière	0.05
Vin	0.035
Fourrage	
Foin	1.3
Paille	0.5
Bois de chauffe	0.2
Plantes cultivées	
Colza	3.7
Tournesol	3.5
Betterave	1.5
Besoins alimentaire du bétail	kgN/capita/an
Bovins	95
Porcins	6.5
Ovins et Caprins	5.5
Chevaux	45
Volaille	0.3
Lapins	0.3

3. La population de Paris et ses besoins alimentaires

L'agglomération métropolitaine parisienne au sens large compte aujourd'hui 11 175 000 habitants (INSEE, 2006). Le chiffre pour Paris *intra muros* est de 2 125 800 (INSEE, 2006). Après le début du 11^e siècle, où la population parisienne était estimée à quelques milliers d'habitants (Favier, 1997), un rapide accroissement démographique intervient, en liaison avec le statut de capitale conféré à la Ville sous le règne de Philippe August, (1165-1223). Ce mouvement se prolonge jusqu'au début du 14^e siècle où Paris atteint 200 000 habitants (Figure 1). Un siècle de crise succède alors, réduisant considérablement la population urbaine et rurale. (Bois, 1981; Jacquart, 1974). Mais la croissance urbaine reprend dès la fin du 15^e siècle et Paris compte plus de 600 000 habitants à la veille de la Révolution de 1789. Un accroissement d'un facteur 5 intervient Durant le 19^e siècle, suivi par un nouveau doublement au 20^e siècle.

Par rapport aux estimations correspondantes de la population totale du bassin de la Seine, (Figure 1), la ville représente moins de 5% au 13^e siècle, mais atteint 20% à la fin du 18^e siècle. A partir de ce moment, la croissance de la population totale du bassin est celle de la population urbaine qui représente aujourd'hui plus de 85% de la première (Figure 1).

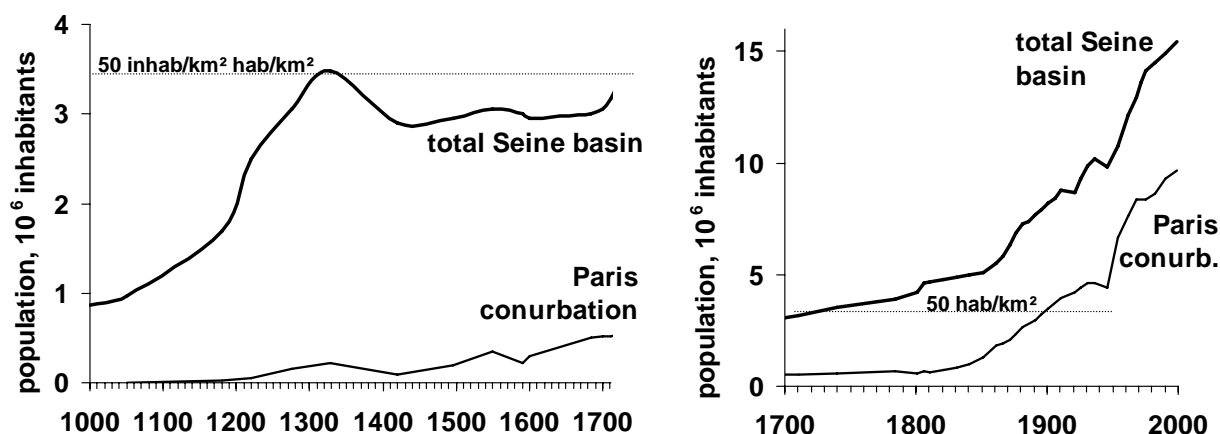


Figure 1. Croissance de la population de l'agglomération parisienne et du bassin de la Seine durant el dernier Millénaire. Synthèse de données compilées par Fourquin (1956), Croze (1988), Levasseur (1889), Favier (1997), Barles (2007), INSEE (2007).

La consommation alimentaire domestique peut être évaluée par deux sources statistiques distinctes basées l'une sur des enquêtes de régime alimentaire effectif sur un échantillon de la population, l'autre sur le bilan de ma production nationale, des importations et des exportations de produits alimentaires. La deuxième méthode fournit des résultats sensiblement supérieurs, parce qu'elle inclut un certain nombre de pertes liées au stockage, à la préparation et à la commercialisation des produits alimentaires. La Table 2 montre que la consommation alimentaire brute par habitant en France (selon la méthode des bilans) s'est accrue de 15 à 22 gN/j entre 1950 et 2000, tandis que les chiffres pour la consommation effective basée sur les enquêtes de l'INSEE n'ont que peu varié autour de 12 gN/capita/j de 1970 à 1990 (INSEE, 1995). Ce dernier chiffre pourrait cependant être sous-estimé, parce qu'il ne prend pas en compte la nourriture consommée hors du foyer qui représente une part croissante de la diète. Notons que le taux d'excrétion d'azote par habitant calculé à partir de l'analyse des eaux usées brutes est compris entre 11 et 15 gN/capita/j (Servais et al., 1989; Garnier et al., 2006).

Pour les périodes historiques, seule la méthode par bilan est utilisable. Pour le cas de Paris, il est possible de tirer parti des données des registres de l'octroi, disponibles depuis la fin du 18^e siècle jusqu'à sa suppression pendant la seconde guerre mondiale (Feugère, 1904). Barles (2007) a analysé celles de la période 1801 to 1914. Les données du 18^e siècle, y compris celles compilées par Lavoisier (Philippe, 1961), ont été discutée en détail par Abad (2002), (Table 2). Le foin et les autres fourrages pour les chevaux sont une part importante de la demande urbaine en produits agricoles. Barles (2007) a évalué leur importation au 19^e siècle. Ces apports deviennent évidemment négligeables dans la seconde moitié du 20^e siècle. 1 stère per personne au 16^e siècle (Woronoff, 2002) et de 3 stères à la fin du 18^e siècle (Rezé, 2002), avant de diminuer en proportion de sa substitution par le charbon, puis le pétrole et l'électricité.

Table 2. Consommation parisienne per capita d'azote dans la nourriture, le fourrage et le bois du 19^e au 20^e siècle.

	1785	1820	1854	1889	1950	1960	1970	1980	1990	2000
Nourriture , kgN/capita/an										
Pain et autres produits céréaliers	2.26	2.57	2.52	2.04	1.94	1.69	1.48	1.42	1.38	1.34
Pommes de terre	0.00	0.10	0.07	0.09	0.46	0.38	0.38	0.27	0.19	0.56
Légumes frais et fruits	0.20	0.20	0.76	0.20	0.28	0.38	0.48	0.50	0.54	0.56
Légumes secs	0.01	0.65	0.15	0.00	0.07	0.07	0.05	0.04	0.03	0.03
Viande	1.32	1.77	1.50	3.13	1.51	2.06	2.42	2.92	3.09	2.98
Poissons et fruits de mer	0.35	0.27	0.37	0.21	0.36	0.47	0.52	0.62	0.80	0.78
Lait fromage et œufs	0.39	0.50	0.67	0.72	0.88	1.01	1.16	1.36	1.52	1.88
vin, bière et cidre.	0.06	0.03	0.04	0.08	0.07	0.08	0.06	0.06	0.05	0.04
Total, kgN/capita/an	4.59	6.09	6.10	6.48	5.55	6.13	6.56	7.18	7.60	8.17
<i>gN/capita/jour</i>	<i>12.6</i>	<i>16.7</i>	<i>16.7</i>	<i>17.7</i>	<i>15.2</i>	<i>16.8</i>	<i>18.0</i>	<i>19.7</i>	<i>20.8</i>	<i>22.4</i>
Fourrage										
kgN/capita/an	1.7	2.1	1.3	2.3						
<i>gN/capita/an</i>	<i>4.7</i>	<i>5.8</i>	<i>3.7</i>	<i>6.4</i>						
Bois										
kgN/capita/an	1.46	1.54	0.54	0.24						
<i>gN/capita/jour</i>	<i>4.0</i>	<i>4.2</i>	<i>1.5</i>	<i>0.6</i>						
Total,										
kgN/capita/an	7.77	9.76	7.97	9.05	5.55	6.13	6.56	7.18	7.60	8.17
<i>gN/capita/jour</i>	<i>21.3</i>	<i>26.8</i>	<i>21.8</i>	<i>24.8</i>	<i>15.2</i>	<i>16.8</i>	<i>18.0</i>	<i>19.7</i>	<i>20.8</i>	<i>22.4</i>

La Figure 2 révèle les tendances à long terme des besoins en azote agricole de Paris Durant les 3 derniers siècles. Par manque de données pour les périodes précédentes, nous avons simplement utilisé les valeurs relatives au 18^e siècle, qui, en ce qui concerne la nourriture, sont très proches des besoins physiologiques minimum de 10 gN/cap/jour.

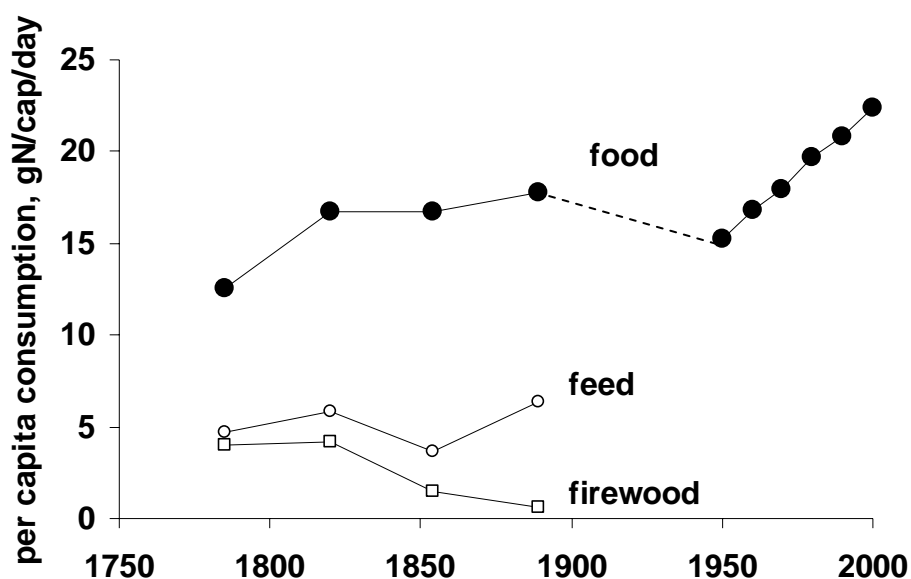


Figure 2. Consommation par habitant d'azote dans la nourriture, le fourrage et le bois de chauffe à Paris, estimés (1) de 1785 à 1889 à partir des données de l'octroi; (2) de 1950 à 2000 à partir des données de consommation domestique (INSEE, 2000).

4. Le potentiel d'exportation commerciale du territoire rural

Le potentiel d'exportation commerciale de produits agricoles d'un territoire représente le surplus de la production agricole soutenable de ce territoire par rapport aux besoins de la consommation local. Il dépend donc de l'organisation technique et sociale des activités agricoles au sein de ce territoire et de la capacité des différentes composantes de la mosaïque paysagère de régénérer et de retourner aux champs les quantités d'éléments nutritifs exportés avec la récolte.

Ainsi, les premières formes d'**agriculture itinérante sur brulis** (Figure 3) consistent à associer le pouvoir de mobilisation des éléments nutritifs de la forêt avec la culture des céréales en libérant, par la coupe et le brûlis d'une parcelle, les stocks d'éléments biogènes accumulés par la première pour mettre en culture les secondes le temps d'une (voir deux) récoltes. La récolte est suivie d'une longue jachère où la forêt recolonise le terrain et reconstitue les stocks de nutriments. Ce système agraire, parfaitement durable si la période de jachère est suffisamment longue et les parcelles défrichées protégées de l'érosion, permet de soutenir une densité de population de l'ordre de 15 hab/km². Une parcelle de l'ordre de 1 ha, produisant 10 quintaux d'équivalents céréales est nécessaire pour nourrir une famille d'agriculteurs de 5 personnes. Le territoire, organisé en une mosaïque de parcelles cultivées itinérantes dans un paysage diversifié de forêts à divers stades de recolonisation, assure l'ensemble des besoins en aliments, en matériaux et en énergie de la communauté essentiellement composée de cultivateurs.

Le **système agraire médiéval traditionnel** (Figure 4) qui a façonné le paysage de l'Europe Occidentale tempérée à partir du Xe siècle est basé quant à lui sur une étroite complémentarité entre l'élevage et la céréaliculture. C'est ici le bétail qui joue le rôle de vecteur des éléments nutritifs entre les zones semi-naturelles à fort pouvoir de mobilisation des éléments nutritifs minéraux (forêts et pâturages) et les soles céréalières. Celles-ci occupent les terres labourables, exploitées en rotation triennale avec une période de jachère au cours de laquelle elles sont enrichies par les déjections des animaux qui y sont parqués la nuit en été, et par le fumier récolté dans les étables en hiver. Espaces forestiers, pâturages semi-naturels et prés de fauche permettent de soutenir une charge animale de l'ordre de 2.5 têtes de gros bétail pour 5 ha de pâturages. Avec le rendement céréalier obtenu

(typiquement 6 q/ha la première année, 4 q/ha la seconde année), les 6 ha de terres arables exploitables par une famille paysanne de 5 personnes permettent de dégager un surplus exportable hors de l'exploitation familiale de l'ordre de 40% de la production. Ce surplus est en partie consommé dans la communauté rurale dont fait partie l'exploitation (celle-ci comptant quelque 20% d'artisans ruraux non cultivateurs), en partie exportée vers la ville. La densité de population soutenable sur le plan alimentaire par ce système est de l'ordre de 50 hab/km². Le surplus alimentaire commercialisable en dehors de la communauté rurale ne dépasse pas 50 kgN/km².an.

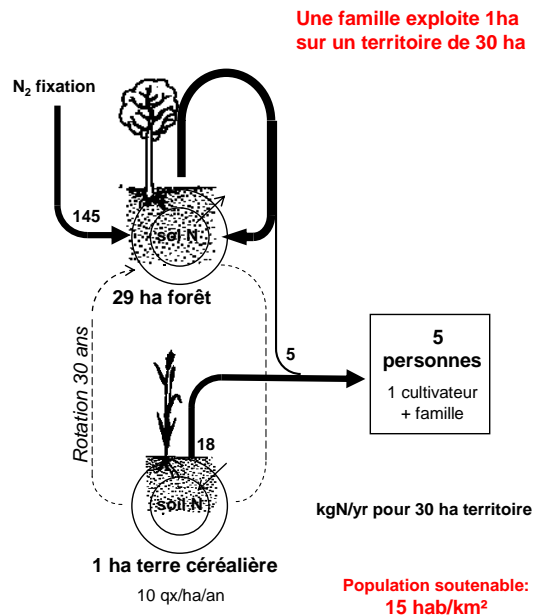


Figure 3. Flux d'azote associés à l'exploitation familiale selon le système de l'agriculture itinérante sur brulis d'une parcelle de 1ha et du territoire forestier associé.

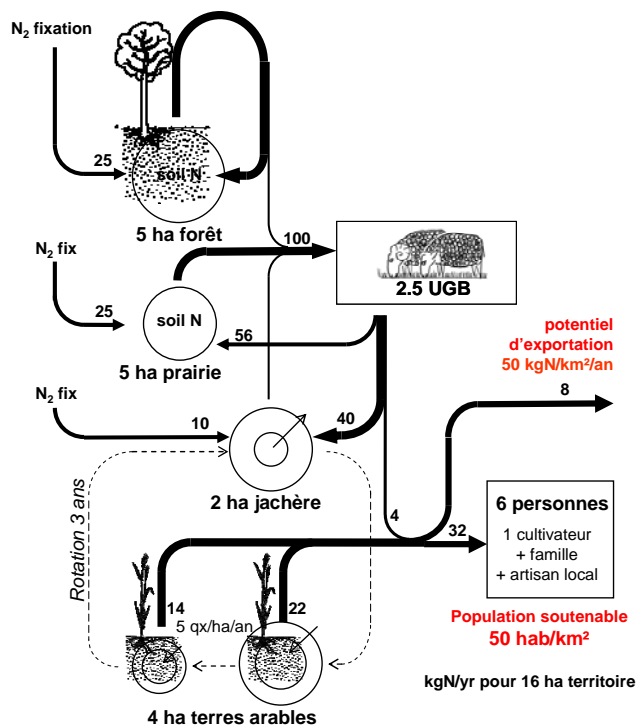


Figure 4. Flux d'azote dans une exploitation familiale basée sur l'assolement triennale et l'élevage à forte charge animale, typique du moyen âge

L'analyse du fonctionnement des grands domaines seigneuriaux des 15-16^e siècles (Benoit et al., 2002) a montré que beaucoup d'entre eux étaient organisés selon un mode plus extensif que les territoires des petites communautés rurales, avec une plus forte charge animale, une plus faible densité de population humaine (souvent inférieure à 10 hab/km²), mais un potentiel d'exportation commerciale pouvant aller jusqu'à 100 kgN/km²/an (Table 3). Ironiquement, ces domaines, souvent créés lorsqu'il s'agit de domaines monastiques, au nom d'un idéal d'autarcie et de retrait du monde séculaire; sont rapidement devenus des entreprises commerciales exportant une plus grande part de leur production interne que les territoires ruraux adjacents..

Parallèlement à l'accroissement de la population urbaine au XIX^e siècle, un nouveau pas dans l'accroissement du potentiel d'exportation commerciale du mode rural sera franchi progressivement par l'abandon de la jachère et son remplacement par une culture fourragère fixatrice d'azote. Le **système d'assolement triennal sans jachère** ainsi mis en place (Figure 5), sans modifier significativement la taille de l'exploitation familiale moyenne, permet un nouvel accroissement de la charge animale et donc des ressources d'éléments fertilisants pour les terres arables. Le potentiel d'exportation commerciale du paysage rural s'accroît jusqu'à près de 500 kgN/km²/an, et la densité de population soutenable passe à 125 hab/km², dont plus des 2/3 en dehors de l'exploitation agricole.

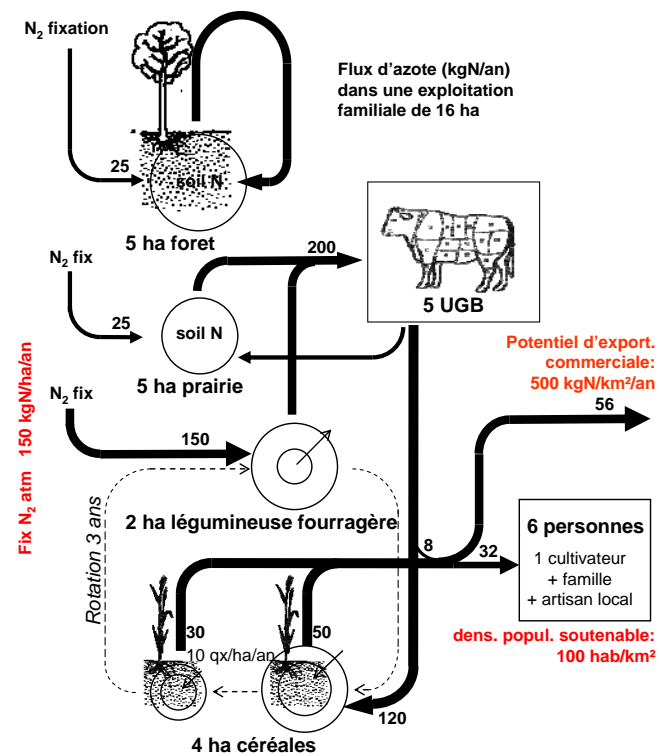
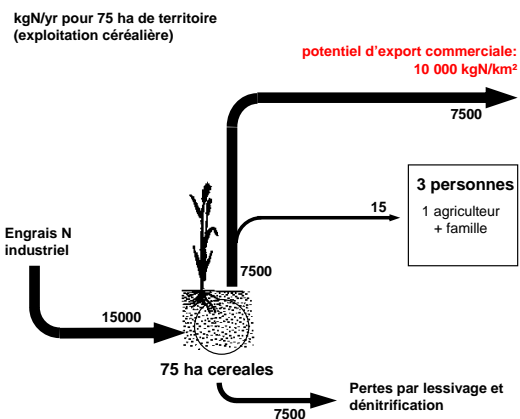


Figure 5. Flux d'azote dans une exploitation familiale basée sur le système de l'assolement triennal sans jachère du XIX^e siècle

La découverte en 1914 du procédé Haber-Bosch permettant la production industrielle d'acide nitrique et d'engrais azotés à partir de l'azote atmosphérique, va permettre de modifier complètement les contraintes imposées à tous les systèmes agraires précédents. Cinquante ans plus tard, la fertilisation chimique, généralisée dans l'agriculture occidentale, fait de la production agricole une activité totalement dépendante de l'industrie chimique lourde. Les flux de matière dans le milieu rural sont totalement simplifiés (Figure 6), et aboutissent, conjointement avec la mécanisation des activités culturelles, à un accroissement sans précédent du potentiel d'exportation commerciale de produits agricoles. Cette nouvelle organisation de la production alimentaire est affranchie de la nécessité de l'étroite complémentarité entre agriculture et élevage qui caractérisait le système agricole traditionnel :

en fonction du marché, de la nature des sols ou de facteurs socio-culturels, certaines régions se spécialisent dans la grande culture exportatrice, sans élevage, d'autres se tournent vers un élevage de plus en plus indépendant de la production agricole locale grâce à l'importation massive de produits fourragers en provenance d'autres régions.

Céréaliculture moderne mécanisée basée sur la fertilisation industrielle.



Elevage laitier intensif

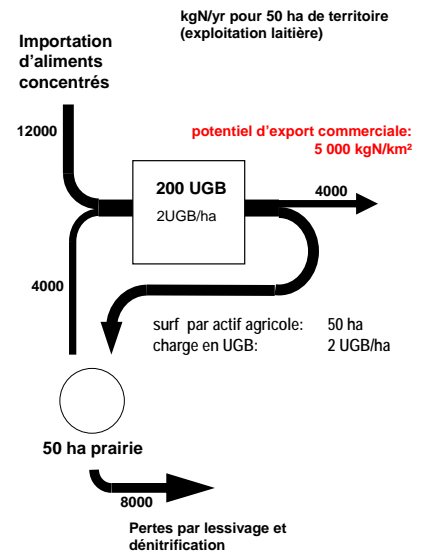


Figure 6. Flux d'azote dans une exploitation céréalière (à gauche) ou d'élevage laitier (à droite) modernes.

Table 3. Caractéristiques fonctionnelles des systèmes agraires successifs du Nord de la France, et estimation de leur potentiel d'exportation commerciale (sources: Mazoyer and Roudart, 2002)

	Agriculture itinérante sur brulis forestier	agriculture médiévale (rotation triennale avec jachère)	Agriculture des 18-19 ^e s. (rotation triennale avec culture fourragère légumineuse)	Agriculture moderne mécanisée avec fertilisation minérale
		Petites comm. rurales	Grands domaines	
Caractéristiques générales de l'exploitation				
Nbre de personnes par exploitation	5	6	600	6
Unités gros bétail par exploitation	-	2.5	1000	5
Surface arable par exploitation (ha, %)	1 (3%)	4 (25%)	1800(24%)	6 (41%)
Surface en jachère (ha, %)	-	2 (13%)	900 (12%)	-
Surface en prairies par exploitation (ha, %)	-	5 (31%)	650 (10%)	3.5 (24%)
Surface forestière associée (ha, %)	29 (97%)	5 (31%)	4000(54%)	5 (35%)
Rendements typiques				
Rdmt en équivalent céréale (kg/ha/an)	10	5	5.4	15-25
Densité de population rurale (hab/km ²)	15	40	7	40
Potentiel d'exportation (kgN/km ² /an)	0	50	100	350-400
Densité de pop. Totale soutenable (hab/km ²)	15	50	35	150

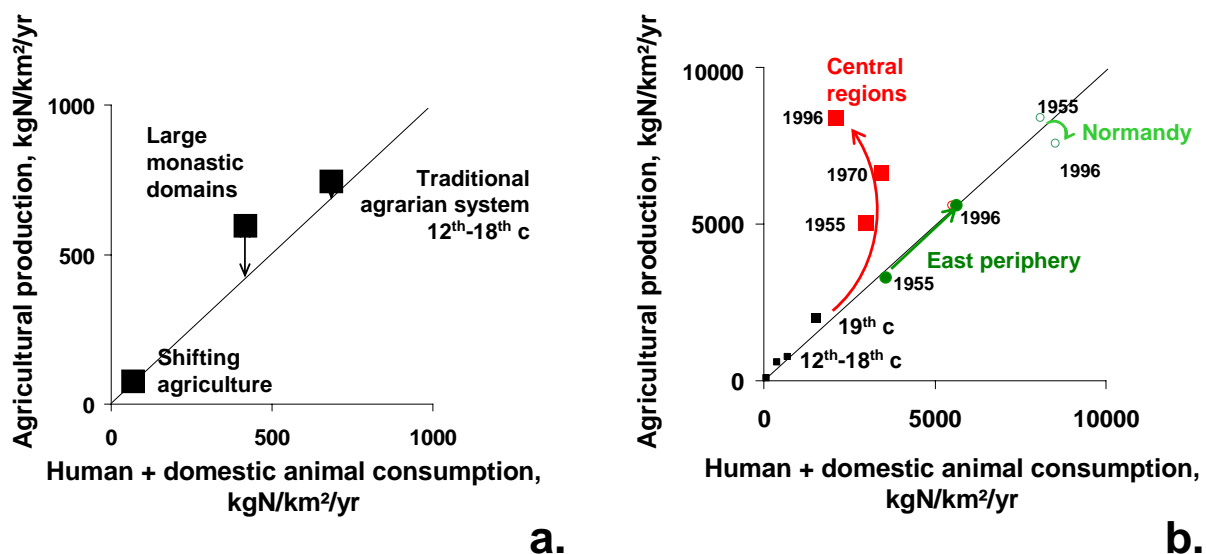


Figure 7. Trajectoires des territoires du bassin parisien dans un diagramme Autotrophie vs. Hétérotrophie depuis le X^e siècle. La production (végétale) de l'agriculture est portée en fonction de la consommation locale par les hommes et les animaux domestiques. Les systèmes situés sur la diagonale sont autarciques ; au dessus de la diagonale, ils sont autotrophes, en dessous de la diagonale, ils sont hétérotrophes. L'écart à la diagonale des territoires autotrophes représentent leur potentiel d'exportation commerciale.

a. shifting agriculture: agriculture itinérante sur brulis forestier; traditional agrarian system: système rural traditionnel medieval basé sur l'assolement triennal et la jachère; large monastic domains: grands domaines seigneuriaux (écclésiastiques ou séculaires)

b. Variations de l'autotrophie-hétérotrophie des systèmes agraires au 20^e siècle.. Les régions centrales du bassin parisien comprennent les départements de l'Aisne, de la Marne, de l'Aube, de la Seine-et-Marne, de l'Eure-et-Loir, du Loiret, et de l'Yonne. La périphérie Est comprend les départements des Ardennes, de la Haute-Marne, de la Meuse et de la Nièvre. La Normandie est ici définie par les départements de l'Orne et de la Seine-Maritime.

5. L'empreinte alimentaire (Food-Print) de Paris

La comparaison des besoins de l'agglomération parisienne en termes de nourriture, de fourrage et de bois de chauffe, avec le potentiel d'exportation commerciale du territoire rural adjacent permet d'estimer l'aire de territoire nécessaire à satisfaire la demande urbaine. Cette surface définit l'extension de l'empreinte exercée par la Ville sur les territoires ruraux. Contrairement au concept d'empreinte écologique défini par Wackernagel and Rees (1996), cette empreinte alimentaire ne prend en compte que les biens agricoles. Elle s'exprime en surface effective de territoire rural plutôt qu'en surface normalisée comme les hectares globaux de l'empreinte écologique.

En utilisant i) les chiffres de l'évolution de la population parisienne de la Figure 1, ii) les besoins en N per capita de la Table 2, et iii) les potentiels d'exportation commerciale estimés dans la Table 3, les surfaces de territoire ruraux nécessaires à satisfaire la demande parisienne peuvent être évaluées (Figure 8). Les résultats montrent une lente augmentation jusqu'au 18^e siècle, où l'empreinte culmine

autour de 70 000 km², une surface correspondant à la taille du bassin versant. Cet accroissement est cependant modeste par rapport à celui de la population urbaine (Figure 1): en dépit d'un accroissement d'un facteur 50 de la population parisienne depuis le 15th siècle, l'empreinte alimentaire de la ville n'a fait que doubler, avant de décroître d'un facteur 5 depuis le milieu du 20^e siècle.

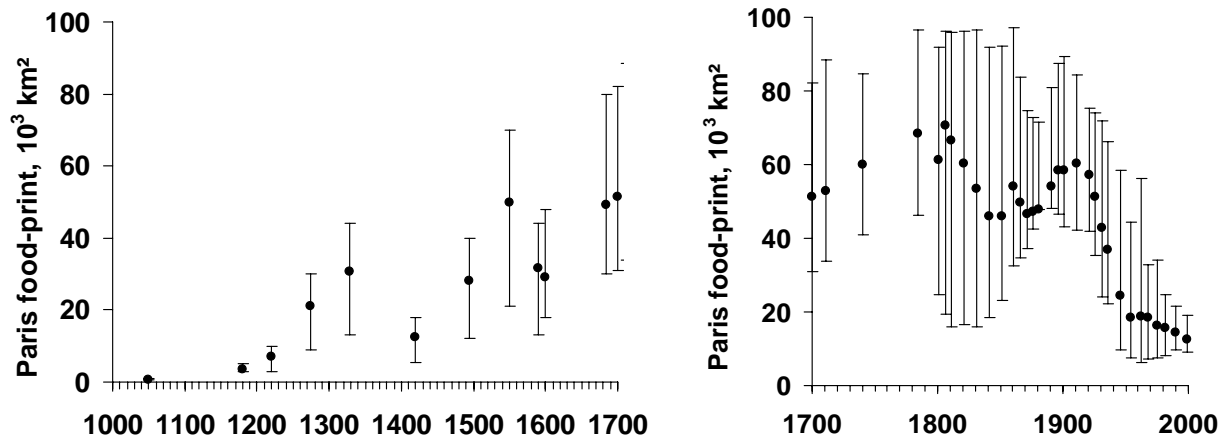


Figure 8. Estimation théorique de la surface d'arrière-pays requise pour satisfaire l'approvisionnement en nourriture, en fourrage et en bois de chauffage de Paris Durant le dernier millénaire. Cette surface est obtenue en divisant les besoins en azote de Paris (Figure 1 et Table 2) par l'estimation du potentiel d'exportation commerciale du territoire rural à la même époque (Table 3). Les barres d'erreurs indiquent l'estimation minimum et maximum, étant donnée l'incertitude sur ces deux éléments.

Pour la fin du 18^e siècle nos estimations peuvent être validées par les résultats de l'analyse de Abad (2002). Bien que cet auteur ait insisté sur le fait que, dès le milieu du 18^e siècle, le marché alimentaire parisien représentait un énorme moyen de redistribution financière à l'échelle de tout le royaume, ses chiffres, exprimés en unités matérielle, montrent que Paris importe la plus grande partie de ses ressources alimentaires depuis les provinces adjacentes (Table 4), qui représentent une aire totale de 60 000 km² environ. La plupart des produits céréaliers provenaient des provinces d'Ile-de-France, de Brie-Champagne et de Picardie, la plus grande part de la viande de Normandie, Orléanais, Berry and Limousin, tandis que le bois était importé essentiellement par flottage depuis les régions reculées du Morvan en Bourgogne (Boissière, 1991; Bruley, 1995; Benoit et al., 2004) (Figure 9). La spécialisation de ces régions est déjà évidente par la nature des produits agricoles exportés, et leur répartition spatiale évoque les aires concentriques du modèle de von Thünen (1826). Pour les provinces qui contribuent le plus à l'alimentation parisienne, l'exportation spécifique d'azote varie entre 10 et 97 kgN/km²/an, des chiffres remarquablement concordants avec notre estimation de 50-100 kgN/km²/an pour le potentiel d'exportation commerciale du territoire rural à cette époque (Table 4).

Table 4. a. Origine par province des principaux produits agricoles importés vers Paris, à la fin du 18^e siècle (d'après Abad, 2002; Bruley, 1995 ; Boissière, 1991). **b.** taux spécifique d'exportation d'azote vers Paris (kgN/km²/yr).

	consumed in Paris	imported from																	out of France
		Ile de France	Normandie	Brie Champagne	Orléanais	Picardie-Boulonnais	Bourgogne	Berry	Maine	Nivernais	Marche-Limousin	Flandres-Artois	Franche Comté	Anjou-Touraine	Poitou	Bretagne	other provinces		
area, km ²		18504	29244	36029	19665	14259	28591	14477	15239	16472	17778	10086	17379	16146	23874	37117	254022		
a.	Human food, tonN/yr																		
	bread and cereals	1470	924	29	332	101	58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31
	vegetables and fruits	130	117	5	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	meat	857	98	344	42	47	12	1	58	28	26	132	7	0	21	14	2	0	0
	fish & seafood	231	3	115	20	14	17	11	2	0	7	0	1	0	0	4	11	0	24
	milk. cheese. eggs. etc	252	15	25	32	10	9	0	0	0	0	0	10	15	0	0	0	0	25
	wine, beer, cider etc	38	6	0	4	4	0	7	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
	total man food, kgN/cap/yr	2982	1163	518	434	177	96	19	60	28	33	132	19	15	22	18	13	26	79
	Animal feed, tonN/yr	1119	626	269	312	95	54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Firewood, tonN/yr	948	0	0	66	0	0	881	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	total, ton N/yr	5048	1788	788	812	272	150	900	60	28	33	132	19	15	22	18	13	26	79
	<i>% of Paris supply</i>	<i>100</i>	<i>35</i>	<i>16</i>	<i>16</i>	<i>5</i>	<i>3</i>	<i>18</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>3</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>2</i>
b.	export, kgN/km²/yr		97	27	23	14	11	31	4	2	2	7	2	1	1	1	0.4		
	<i>as vegetal pdcts</i>		90.4	10.4	18.1	10.2	7.9	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0		
	<i>as animal pdcts</i>		6.3	16.6	2.6	3.6	2.7	0.4	4.2	1.9	2.0	7.4	1.8	0.9	1.3	0.7	0.4		
	<i>as firewood</i>		0.0	0.0	1.8	0.0	0.0	30.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

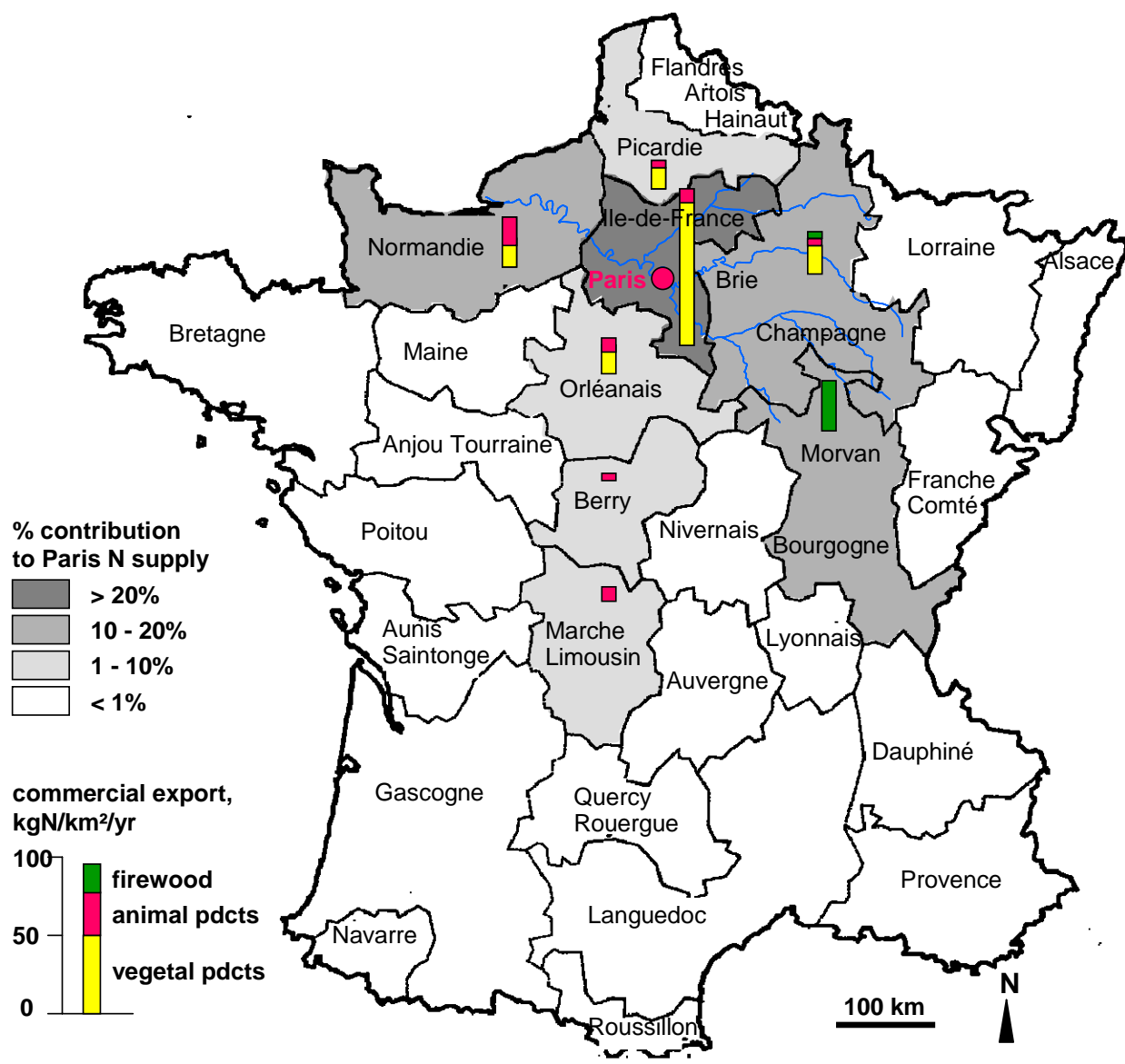


Figure 9. a. Contribution des différentes provinces à l’approvisionnement de Paris en nourriture, fourrage et bois de chauffage à la fin du 18^e siècle. (calculé à partir des chiffres d’Abad, 2002 et Bruley, 1995). b. Taux spécifique d’exportation commerciale de produits agricoles des différentes provinces (en kgN/km²/an).

La diminution récente et spectaculaire de l’empreinte alimentaire de Paris observée depuis 1950 (Figure 8) est un autre résultat important de notre analyse. Les rendements de l’agriculture moderne comme elle est pratiquée dans les régions centrales du bassin parisien sont si élevés (atteignant 10 000 kg /ha/an) que la production dépasse largement les besoins de la consommation urbaine parisienne, et est exportée ailleurs, souvent sur de longues distances. Le Tableau 5 illustre ce point, en comparant la consommation alimentaire urbaine actuelle (déduite des données de la Table 2 et de la population totale de l’agglomération parisienne) avec la production agricole des espaces ruraux du bassin de la Seine (considéré

comme l'hinterland 'naturel' de la ville). En ce qui concerne la plupart des biens agricoles, (sauf pour la viande et les fruits de mer), le bassin parisien produit bien plus que ce qui est nécessaire pour l'alimentation de la Ville. D'autre part, l'examen des statistiques du fret de la région Ile-de-France (DREIF, 2003) montre que les 2/3 des 14 000 ktons de produits agricoles entrant annuellement dans l'agglomération parisienne par route, rail ou voies navigables (dont plus de 75% en provenance de l'extérieur du bassin de la Seine) sont ré-exportés après transformation et re-conditionnement (Barles, 2007). Il est dès lors très difficile de préciser l'origine des produits consommés localement par la ville, mais il ne fait pas de doute que le marché alimentaire actuel de Paris est très ouvert et n'est que très peu lié à la production locale de son hinterland naturel.

Table 5. *Consommation actuelle (2000) de produits agricoles par l'agglomération parisienne (9 650 000 habitants) et production correspondante des régions rurales du bassin de la Seine, exprimées en terme de leur contenu en azote (pour la comparaison avec les données du tableau 4, noter que les unités sont ici en ktonN/an).*

	Consommé dans l'agglomération parisienne	production de		
		Zones centrales du bassin parisien (1)	Normandie (2)	Franges orientales du bassin parisien (3)
surface, km ²		52657	17929	18257
Aliments humains, ktonN/an				
Pain et céréales	13	263	43	39
Légumes et fruits	11	342	37	26
viande	29	7	7	3
Poissons et fruits de mer	8	-	-	-
Lait, fromage, oeufs	18	7	9.68	2.85
total, kton N/anr	78	619	96	72
<i>% des besoins de Paris</i>	<i>100</i>	<i>789</i>	<i>123</i>	<i>92</i>
Export potentiel, kgN/km²/an				
		11597	5155	3209
<i>Produits végétaux</i>		<i>11401</i>	<i>4350</i>	<i>2914</i>
<i>Produits animaux</i>		<i>196</i>	<i>805</i>	<i>295</i>

(1) Seine et Marne, Oise, Aisne, Marne, Aube, Yonne, Eure, Eure et Loir

(2) Orne, Calvados, Seine Maritime

(3) Ardennes, Haute Marne, Nièvre

6. Conclusions

Les données rassemblées ici décrivent comment la croissance des besoins alimentaires de Paris durant presque un millénaire s'est faite au rythme du développement du potentiel d'exportation commerciale du territoire rural environnant. Ils montrent les liens étroits qui ont existé entre la ville et son hinterland jusqu'il y a environ 50 ans. Paris est née à la confluence des trois principaux tributaires du bassin de la Seine, au centre d'une région très fertile. Ce territoire a constitué la source d'approvisionnement principal de la ville pendant plus de 9 siècles, et s'est adapté à cette fonction, rendant possible la poursuite du développement de Paris sans extension excessive de la surface nécessaire à l'approvisionnement.

Ce n'est que durant les 50 dernières années que cette étroite interaction s'est rompue. A cause d'un accroissement sans précédent des rendements agricoles rendu possible par la généralisation des techniques modernes de l'agriculture, Paris a cessé d'être le principal débouché de la production agricole du bassin parisien. L'évolution de cette agriculture est maintenant essentiellement mue par la logique des marchés internationaux plutôt que par la demande urbaine locale, qui n'a plus aujourd'hui qu'un poids mineur dans la destination de la production agricole.

D'autre part, les systèmes agraires modernes qui dominent le bassin parisien sont extrêmement dépendants de ressources extérieures en énergie, en fertilisants et en pesticides. Ils génèrent des dysfonctionnements environnementaux sérieux en matière de pollution aquatique et atmosphérique. Ces pressions accrues du territoire rural sur des ressources autres que l'espace lui-même ne sont pas prises en compte dans notre 'empreinte alimentaire', ce qui relativise la portée de l'apparente réduction de l'empreinte spatiale au cours des 50 dernières années. (Figure 5). En effet, contrairement à l'empreinte écologique proposée par Wakernagel and Rees (1996), notre empreinte alimentaire réfère à une surface réelle de territoire rural théoriquement requise pour approvisionner une ville, en tenant compte des performances effectives du système agricole mis en œuvre sur ce territoire. Il ne considère pas le bilan complet des ressources nécessaires en terme d'énergie et de fertilisants, ni en terme d'élimination des déchets, éventuellement convertis en surface productive équivalente. Bien que les deux types d'approches puissent être complémentaires, nous défendons l'idée qu'un regard attentif sur la manière dont les territoires ruraux ont évolués dans leur capacité à exporter commercialement des produits alimentaires, en réponse à la demande des marchés locaux ou distants, est nécessaire pour mieux appréhender le défi actuel d'une meilleure allocation des ressources alimentaires dans un monde en croissance démographique et en voie d'urbanisation rapide.

References

- Abad, R. (2002). *Le Grand Marché : l'approvisionnement de Paris sous l'Ancien Régime*. Fayard, Paris, 2002, 1030 pp.
- Asher, F. (2001). *Les nouveaux principes de l'Urbanisme. La fin des villes n'est pas à l'ordre du jour*. Editions de l'Aube, 104 pp.
- Baccini, P. and Bruner, P. (1991) *Metabolism of the Anthroposphere*. 169 pp. Springer Verlag, Berlin.
- Barles, S. (2005). *L'invention du déchet urbain*. 297 pp. Ed. Champ Vallon, Seyssel (France)
- Barles, S. (2007). *Feeding the city: Food consumption and flow of nitrogen, Paris, 1801-1914*. *Science of the Total Environment*. 375: 48-58.

- Barles, S. and Lestel, L. (2007). The nitrogen question: urbanisation, industrialisation and river quality in Paris (France), 1830-1939. *Journal of Urban History*. 33: 794-812.
- Billen, G., Garnier J., Némery J., Sebilo M., Sferratore A., Benoit P., Barles S., Benoît M. (2007) A long term view of nutrient transfers through the Seine river continuum. *The Science of the Total Environment* 275: 80-97.
- Benoit, P., Berthier, K., Billen, G. and J. Garnier (2002). Agriculture et aménagement du paysage hydrologique dans le bassin de la Seine au XIV-XV^e siècle. In Burnouff, J. and Ph. Leveau (eds) : *Les fleuves aussi ont une histoire*, Actes du Colloque PEVS-SEDD, 8-10 avril 2002, Aix-en-Provence.
- Bois, G. (1981). *Crise du féodalisme*, Paris, Presses de la Fondation nationales des sciences politiques, 410 pp.
- Boissière, J. (1991). Marché du bois en ville en France à l'époque moderne : quelques remarques. In Biget, J-L., Boissière, J. and Hervé, J-C, eds, *Les bois et la ville au Moyen Age*, Paris, pp. 31-49.
- Benoit, P., Berthier, K., Boet, Ph. Rezé, C. (2004). Les aménagements hydrauliques liés au flottage du bois, leur impact sur le milieu fluvial, XVI^e-XVIII^e siècles. In Burnouff, J., Leveau, P., eds. *Fleuves et marais, une histoire au croisement de la nature et de la culture*, Paris, CTHS, pp. 311-320.
- Bruley, J. (1995). *Les Gondoliers du Morvan*. 334 pp., Editions de l'Armançon, Précy-sous-Thil, (France).
- Contamine, P., Bompaire, M., Lebecq, S. and Sarrazin, J.-L. (2003). *L'économie médiévale*, A. Colin, coll. U, Paris, 447 pp.
- Croze, M. (1988). Tableaux démographiques. La population en France. Histoire et Géographie. INED-Insee, 1988
- Dupeux, G. (1981). Atlas historique de l'urbanisation en France (1811-1975). ?? pp., Éditions du CNRS, Paris.
- DREIF (Direction Régionale de l'Équipement Ile-de-France) (2003). Statistiques du frêt. <http://www.ile-de-france.equipement.gouv.fr/>
- Favier, J. (1997). *Paris, deux mille ans d'histoire*. 1007 pp., Fayard, Paris.
- Feugère, E. (1904). *L'octroi de Paris, histoire et législation*. 678 pp., Paris.
- Fourquin, G. (1956), La population de la région parisienne aux environs de 1328, *Le Moyen Age*, 62 : 63-91.
- Galloway, J.N., Schlessinger, W.H., Levy, H., Michaels, A. and Schoor, J.J. (1995). Nitrogen fixation: anthropogenic enhancement – environmental response. *Global Biogeochemical Cycles*. 9: 235-252.
- Galloway, J.N. and Cowling, E.B. (2002). Reactive Nitrogen and The World: 200 years of Change. *Ambio*. 31: 64-71.
- Garnier, J., Laroche, L. and Pinault, S. (2006). Determining the domestic specific loads of two wastewater plants of the Paris conurbation (France) with contrasted treatments: a step for exploring the effects of the application of the European Directive. *Water Research*, 40:3257 – 3266.
- Goubert, P. (1982) *Beauvais et le Beauvaisis de 1600 à 1730 : contribution à l'histoire sociale de la France du XVII^e siècle*, Paris, Ed. de l'EHESS, 2 vol., 653 pp.
- INSEE (Institut National de Statistique et des Etudes Economiques), (1995, 2000, 2006). Tableaux de L'Economie Française.

- Jacquart, J. (1974). *La crise rurale en Ile-de-France, 1550-1670*, Paris, A. Colin, 795 pp.
- Kaplan, S. L. (1988). *Les ventres de Paris. Pouvoir et approvisionnement dans la France d'Ancien Régime*. 702 pp, Fayard, Paris.
- Le Thi Phuong, Q., Billen, G., Garnier, J., Théry, S., Fézard, C., and M. Chau Van (2005). Nutrient (N, P) budgets for the Red River basin (Vietnam and China). *Global Biogeochem. Cycles*, 19, GB2022, doi:10.1029/2004GB002405.
- Levasseur, E. (1889). *La population française, La population française : histoire de la population française avant 1789 et démographie de la France comparée à celle des autres nations au XIXe siècle* Paris. A. Rousseau, ed. Paris.
- Mazoyer, M. and L. Roudart (1998). *Histoire des agricultures du monde. Du Néolithique à la crise contemporaine*. 531 pp, Seuil, Paris.
- Mignolet, C., Schott, C. and M. Benoît (2007). Spatial dynamics of farming practices in the Seine basin: Methods for agronomic approaches on a regional scale. *The Science of the Total Environment* 375: 13-32.
- Philippe, R. (1961). Une opération pilote : l'étude du ravitaillement de Paris au temps de Lavoisier. *Annales. Economies, Sociétés, Civilisations*. 16 (3), 564-568.
- Servais, P., Garnier J., Demarteau N., Brion N. and G. Billen (1999). Supply of organic matter and bacteria to aquatic ecosystems through wastewater effluents. *Water Research*, 33: 3521-3531.
- Smil, V. (1999). Nitrogen in crop production: an account of global fluxes. *Global Biogeochemical Cycles*. 13 : 647 - 662.
- Schmid-Neset, T.S. (2005) *Environmental Imprint of Human Food Consumption : Linköping, Sweden 1870-2000*. Linköping Studies in Arts and Science, n°333. Unitryck, Linköping
- Soltner, D. (2005). *Les bases de la production végétale*, 466 pp.. Collection Sciences et Techniques Agricoles, Bressuire (France).
- Von Thünen, J.H. (1826). *Der isolierte Staat in Beziehung auf Landwirtschaft und National Oekonomie*. G. Fischer, Ed. , Jena, G.
- Wakernagel, M. and W. Rees (1996). *Our ecological footprint: reducing human impact on earth*. ??? pp., New Society Publishers, Gabriola Island, BC.
- WWF, World Widelife Fund (2002). *Rapport Planète Vivante 2002*. ??? pp., ISBN: 2-88085-256-0, Banson, Publ., Cambridge, UK.
- Woronoff, D (2002). *Histoire de l'industrie en France*. 664 pp., Seuil, Paris.